Découpe d'un volet cornéen au laser femtoseconde IntraLase™ : mode d'emploi

Didier Chong-Sit

En juillet 2004, le laser femtoseconde IntraLase™ faisait son entrée dans les salles aseptisés de deux cliniques parisiennes et dans les habitudes des chirurgiens réfractifs. Les premiers articles en langue française furent essentiellement des mises au point techniques sur le mode de fonctionnement et les perspectives d'avenir, ainsi que des réflexions théoriques concernant les avantages et les inconvénients (dont le prix !) de ce nouvel outil. Après 18 mois d'utilisation, il nous a semblé utile de présenter les éléments qui permettraient aux lecteurs d'appréhender concrètement cette nouvelle technique, et ainsi certainement de réduire leur courbe d'apprentissage (déjà courte) en toute sécurité pour les patients.

IFS2 : laser femtoseconde de la firme IntraLase™

Ce laser solide (ne nécessitant ni eau, ni gaz) émet dans l'infrarouge. Il produit une fracture optique obtenue après résorption du plasma (mélange de gaz et d'eau) libéré par un micro-impact laser.

Cette deuxième version commerciale, cadencée à 15 kHz, est distribuée en France par Topcon (*figure 1*). Un modèle disposant d'une fréquence à 60 kHz sera disponible en France en juin 2006, il devrait permettre de mieux gérer les énergies et de raccourcir le temps de procédure de moitié (environ 25s).

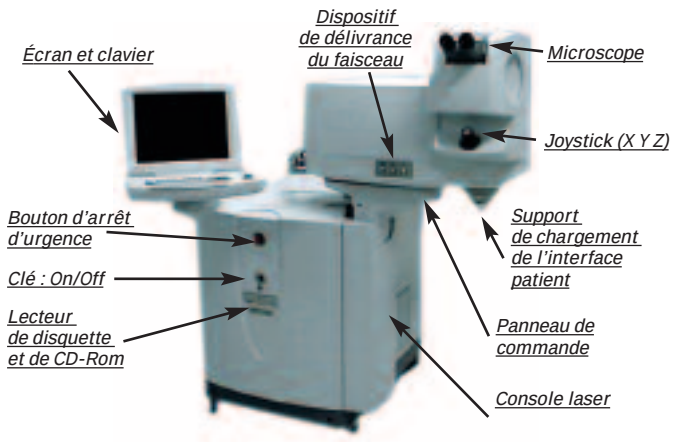


Figure 1. *IFS2 : Deuxième version du laser femtoseconde de la firme IntraLase™.*

Outre les indications, le chirurgien doit maîtriser l'utilisation du laser

Dans le cadre du lasik, la nécessité de réaliser des capots fins d'épaisseur contrôlée semble faire l'unanimité pour limiter les risques d'ectasie cornéenne. Par ailleurs, les indications les plus spécifiques du laser femtoseconde sont maintenant bien connues : kératométries extrêmes (cornée plates ou cambrées), finesse cornéenne (compte tenu des amétropies à corriger), hypermétropie, pathologie épithéliale (à minima) et âge supérieur à 45 ans.

La réalisation de tunnels cornéens pour la pose d'anneaux intra-cornéens Intacs® (myopie, kératocône ou ectasie), ou d'un volet avant mise en place d'inlay hypermétropique sont des indications plus anecdotiques.

Plusieurs mois ont été nécessaires aux pionniers pour maîtriser ce nouvel outil : gestion et choix de l'épaisseur du capot, des énergies à programmer, de l'espacement des impacts du laser, traitement au travers de cicatrices (kératotomie radiaire, kératoplastie transfixiante), mais surtout sélection des meilleures indications.

Des publications internationales ont mis en évidence la qualité de la découpe par l'IntraLase™, notamment la diminution des aberrations de haut degré, et la régularité de l'épaisseur des coupes. Nous avons nous-mêmes participé à des travaux pour étudier en microscopie confocale la cicatrisation après découpe laser.

chongsit@yahoo.fr
Clinique de la Vision - Paris

La console de programmation permet d'ajuster les paramètres

Les paramètres de la découpe du volet cornéen "Flap", proposés par défaut, peuvent être ajustés.
Le mode "Raster" en trame linéaire est le seul disponible pour la réalisation du volet de lasik. Le mode "Spiral" est réservé à la création des tunnels avant la pose d'Intacs® et/ou lors des greffes lamellaires.
La position de la charnière "Hinge", classiquement supérieure, peut être également nasale en cas d'astigmatisme inverse important ou de ptérygion susceptible de gêner la découpe. L'intérêt d'une charnière temporale est discutable chez certains hypermétropes dont la fixation est excentrée en nasal.
La profondeur de la découpe est réglable de 90 à 400 µm (par incrément de 10 µm).
Le diamètre réel maximum du capot est de 9,5 mm .
Le paramètre "Bed energy" permet d'ajuster l'énergie délivrée pour la découpe du plan horizontal. A l'origine, les énergies utilisées étaient d'environ 3mJ. L'importante réduction de celles-ci explique la disparition des phénomènes inflammatoires (TLSS) décrits aux États-Unis (fréquence < 1/2000 dans notre expérience).
Jouer sur l'espacement des lignes de la trame "Line Sep" et des impacts de laser "Spot Sep" doit permettre de cliver aisément le volet sans surdosage énergétique.
Ces critères sont assez délicats à gérer et il peut-être conseillé de ne les modifier qu'à la fin de la courbe d'apprentissage du chirurgien.
L'énergie de la découpe verticale est également réglable.
L'angle de découpe par rapport au plan horizontal est réglé à 70° par défaut, ce qui est satisfaisant (*figure 2*).
La largeur de la charnière est définie par l'arc de cercle non découpé lors de la coupe verticale.
On peut choisir de créer ou non une poche offrant une soupape de pression aux gaz libérés (Pocket "On" ou "Off").

L'angle de découpe à 70° et l'aplanation de la cornée augmentent la surface thérapeutique

L'angle d'attaque des lames de microkératome est inférieur à 30°, ce qui réduit notablement la surface utile pour la photo-ablation. On connaît par ailleurs la variabilité de la taille du capot en fonction de la kératométrie (capot d'autant plus petit que la celle-ci est faible).
En aplanissant la cornée, le laser IntraLase™ s'affranchit de sa courbure (plate ou cambrée) et permet d'obtenir un capot "planar", dont l'épaisseur est identique au centre et en périphérie (contrairement aux capots "ménisqués" des microkératomes). L'angle d'attaque de 70° réduit beaucoup moins la zone effectivement thérapeutique.
Par exemple une découpe au laser femtoseconde optimise nettement la zone réellement accessible au laser hypermétropique sur une cornée plate à 41 D.

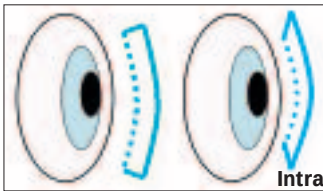


Figure 2. *L'angle d'attaque de 70° (par défaut) du laser femtoseconde augmente la surface thérapeutique.*

Une préparation soigneuse avant la découpe du capot

Un kit à usage unique est utilisé pour chaque patient. Pour une procédure bilatérale il comprend une seringue créant la dépression et ainsi la succion per-opératoire, deux cônes d'aplanation solidaires de la tête du laser et deux pinces bloquantes munies de jupes en silicone pour stabiliser la jonction entre l'œil et le cône.

Pose, centrage rigoureux de l'anneau et succion s'effectuent de façon classique (*figure 3*)

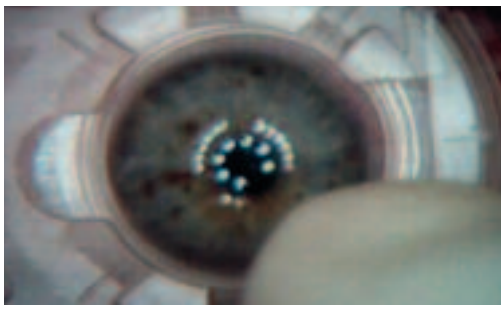


Figure 3. *Pose et centrage de l'anneau.*

Dans mon expérience, aucun échec de pose n'a été noté. On observe cependant parfois une dilatation pupillaire et une perte transitoire de l'acuité visuelle.

Le cône, solidaire de la tête du laser est délicatement approché de l'anneau, lui-même solidaire de l'œil (*figure 4*)

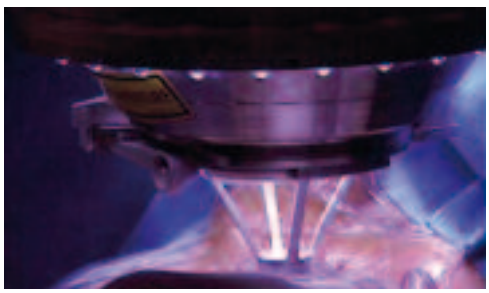


Figure 4. *Le cône est approché de l'anneau.*

La découpe est calibrée par rapport à l'extrémité de la tête du laser et tient compte d'une dimension standard du cône (à +/-10 µm près). Ainsi, la précision de la profondeur dépend essentiellement du cône utilisé (attention donc à une éventuelle contrefaçon !).
De ce fait, une deuxième découpe sur un même œil (si la

première a dû être interrompue) impose l'usage du même cône pour retrouver le même plan. La démarche serait identique s'il s'agissait de réaliser une greffe lamellaire antérieure : il faut utiliser le même cône sur l'œil du donneur et celui du receveur afin d'obtenir la même épaisseur.

L'aplanation doit être complète

L'intégrité du cône, et en particulier de la "glace" d'aplanation, sont les garants d'une découpe complète et de qualité. Le bras mécanique porteur de la tête du laser assure une "descente" délicate (lumière verte) au contact de l'œil (*figure 5*). Il existe un système de contrôle avec alarme en cas de surpression (lumière rouge).

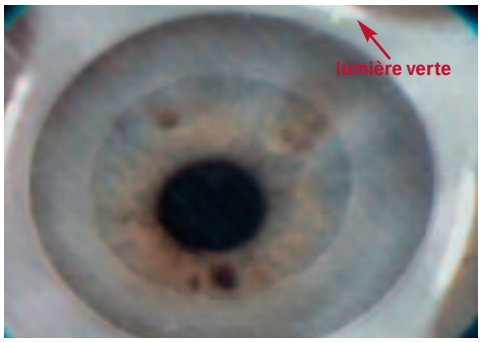


Figure 5. *Début d'aplanation sans incident (lumière verte)*

Quand l'aplanation est quasi complète, un petit ménisque persiste en périphérie (*figure 6)*. Il est important de bien rechercher ce défaut d'aplanation pour l'éliminer, sans quoi la découpe de cette zone serait incomplète !

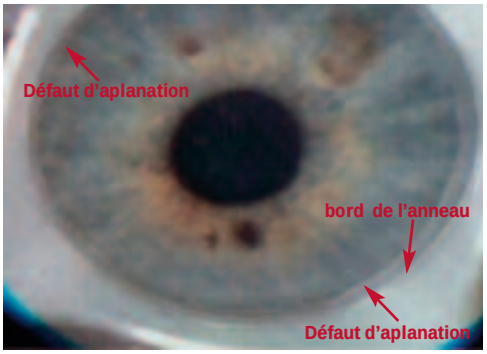


Figure 6. *Aplanation incomplète en périphérie*

À ce stade, c'est souvent un discret mouvement d'ascension de l'anneau de succion qui permet d'obtenir un contact sur toute la surface d'aplanation, plutôt que la poursuite de la descente du cône.
L'aplanation complète, dont l'obtention peut être délicate (notamment au début de la courbe d'apprentissage), est impérative.
Si l'anneau n'était pas parfaitement centré, les déplacements XY nécessaires à une bonne aplanation peuvent entraîner un lâchage de succion. On peut alors corriger facilement la position de l'anneau (en effet, la jupe en silicone ne crée pas de gouttière sur la conjonctive).

À ce stade, la procédure laser peut être mise en route.
La visualisation précise du futur volet et d'une mire centrée contrôle le centrage du capot (*figure 7*). Un palonnier virtuel permet le recadrage numérique d'un capot qui ne serait pas parfaitement centré (avec parfois discrète diminution du diamètre de la découpe)

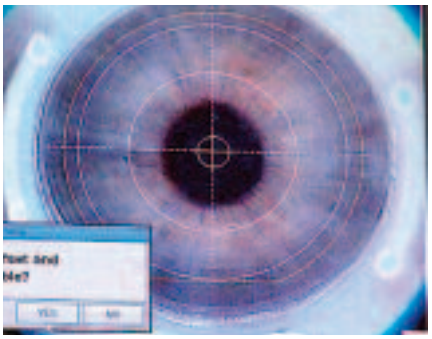


Figure 7 *Visualisation du futur volet (en jaune) et vérification du centrage avant la découpe.*

La découpe : moment de sérénité pour le chirurgien

Une série de "clicks" valide le bon déroulement de la programmation, suivie d'un démarrage au pied de la procédure (*figure 8*).

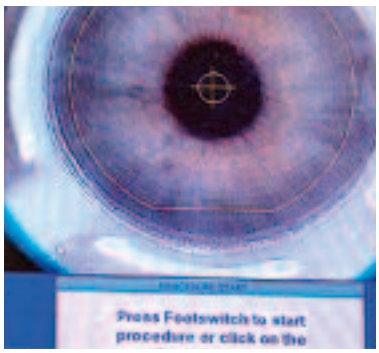


Figure 8. *La procédure peut être démarrée à la pédale.*

La fonction "Pocket On" permet de créer une soupape d'évacuation pour les gaz émis

Pendant le temps effectif du laser, l'inscription "Laser Emission" est bien visible. Cette étape débute par la réalisation d'une poche, qui doit faire office de soupape pour les gaz émis.
Son usage (Pocket On, par défaut) n'est pas systématique et dépend des habitudes de chaque chirurgien (*figure 9a*).

Figure 9a. *L'émission du laser peut débuter par la confection d'une "poche" qui fait office de soupape pour les gaz émis (fonction "Pocket On").*

Elle permet éventuellement d'accélérer la disparition du gaz au niveau de l'interface, avant la photo-ablation, et de réduire la pression sur certains capots fins et parfois fragiles.
Cette poche démarre à environ 200 µm et rejoint en biais le plan de découpe horizontal à la profondeur choisie *(figure 9b)*.

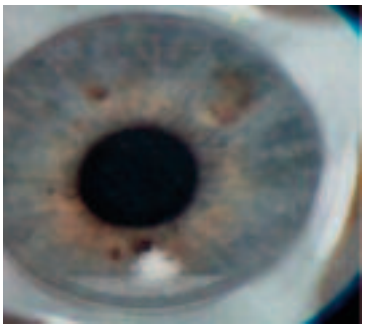


Figure 9b. *"Poche" en cours (premier œil).*

L'excès de gaz et d'eau issu des bulles de "cavitation" se matérialise en avant de la trame par un petit front de "dissection" du stroma cornéen.

La découpe horizontale progresse impact par impact

La découpe horizontale se poursuit (*figure 9c et 9d*), après la poche si celle-ci a été programmée, ou directement dans le cas contraire.

Figure 9c. *La découpe horizontale dure environ 40 s.*

Figure 9d. *La découpe horizontale se poursuit.*

La trame est réalisée impact par impact et cette phase dure environ 40 s (temps directement fonction de l'espacement des tirs et du diamètre du volet).
Le laser n'entraîne aucune sensation douloureuse ou olfactive. Seule la pression de l'anneau de succion est perçue par le patient.
La profondeur du plan de découpe choisi est généralement de 100 à 120 µm.
La découpe d'un capot plus fin ou plus épais imposerait de modifier l'énergie requise : "Bed Energy" (augmenter d'environ 0,1 mJ pour approfondir de 20 µm).

Le risque de capot libre disparaît

En progressant de la profondeur vers la surface, la découpe verticale met un terme à la procédure en une dizaine de secondes (temps prolongé si le volet est plus épais !). Elle préserve la charnière selon l'angle prédéterminé (45° par défaut).
L'augmentation de l'angle pourrait améliorer la résistance de la charnière et le respect de certains plexus nerveux cornéens. A l'inverse, une grande charnière réduit la surface de photo-ablation.
Les risques de capot libre et de button-hole (free cap) sont bien entendu définitivement écartés (*figure 9e*).

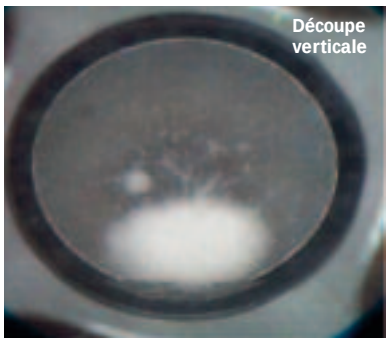
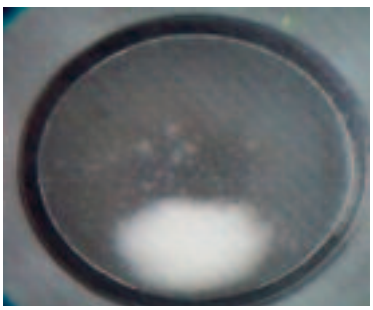


Figure 9e. *Fin de la découpe. Le risque de capot libre est définitivement écarté.*

Avec l'option "Pocket Off" on obtient le plus grand volet possible, mesurant 9,5 mm de diamètre

Cette possibilité est particulièrement intéressante chez l'hypermétrope.
L'expansion des bulles de cavitation (dans le stroma antérieur le plus souvent) est un peu plus étendue qu'avec l'option "Pocket On" (*figure 9f*).

Figure 9f. *L'option "Pocket off" permet d'obtenir un capot du plus grand diamètre possible (deuxième œil du même patient).*



Le clivage du volet justifie un apprentissage

En fin de procédure, la succion est relâchée et le bras du laser relevé.
On réalise successivement les découpes des volets des deux yeux.
Le blépharostat ayant été retiré, le patient doit être réinstallé pour la photo-ablation réfractive.

Un geste technique et délicat

L'angle d'attaque des bords du volet étant assez vertical, il est nécessaire d'utiliser une fine spatule afin de cliver une petite zone proche de la charnière (sans créer de lésion épithéliale) (*figure 10*).

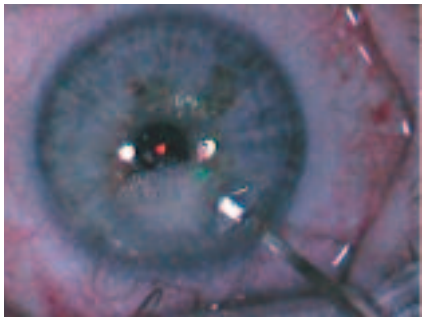


Figure 10. *Utilisation d'une fine spatule pour cliver le volet au bord de la charnière.*

À noter que le temps d'installation du patient sous le laser excimer a suffi à la cornée pour s'éclaircir, ce qui permet la mise en route de l'eye-tracker avant de soulever le capot.
La reconnaissance irienne peut cependant être gênée pendant quelques minutes.
Puis un manipulateur mousse est passé de part en part du volet, parallèlement à la charnière.
Un premier mouvement, dirigé vers le haut, a pour but de "libérer" la charnière. (*figure 11a*)
Un second mouvement de cisaillement est réalisé par la double action du manipulateur vers le bas et de l'œil du patient vers le haut *(figure 11b*).

Ce mouvement, fermement réalisé pour cliver les micro-ponts tissulaires résiduels, doit néanmoins être contrôlé, afin de ne pas exercer de traction excessive sur la charnière (notamment sur les volets les plus fins).
Le clivage du volet, nouveau geste chirurgical, impose un apprentissage. Il est optimisé par la gestion précise de l'énergie et des espacements entre les impacts laser en fonction de l'épaisseur du capot.
[Après contrôle vidéo, huit secondes ont été nécessaires pour lever les adhérences tissulaires] (*figure 11c*).
Malgré une finesse programmée, qui lui donne une texture cellophane, le volet est récliné sans difficulté *(figures 11d et 11e*).

Le lit stromal est prêt pour la photo-ablation

L'aspect du lit stromal est lisse et régulier (*figure 12a*).
Gage de qualité de la photo-ablation, celle-ci s'effectue sur un stroma naturellement moins humide qu'après une découpe mécanique.
En microscopie confocale, l'effet du laser excimer sur le stroma cornéen est similaire, que la découpe ait été réalisée par un microkératome ou par laser (*figure 12b*).
Bien que de 100 µm, les berges de la découpe sont plus

Figures 11 a, b, c, d, e. *Clivage du volet par un manipulateur mousse.*

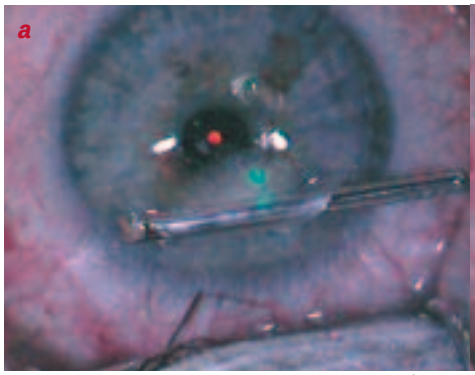


Figure 11a. *Le premier mouvement, dirigé vers le haut, a pour but de libérer la charnière (TØ).*

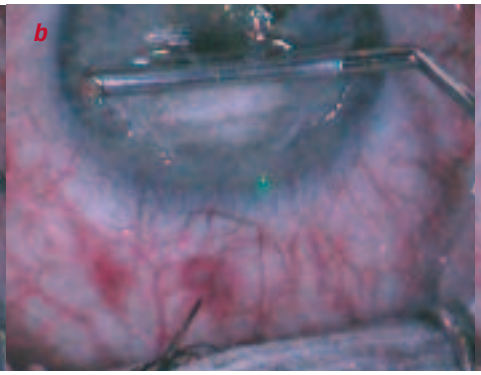


Figure 11b. *Second mouvement de cisaillement : actions du manipulateur vers le bas et de l'œil vers le haut (TØ+3s).*

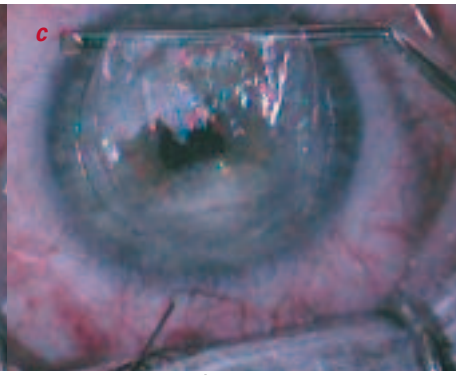
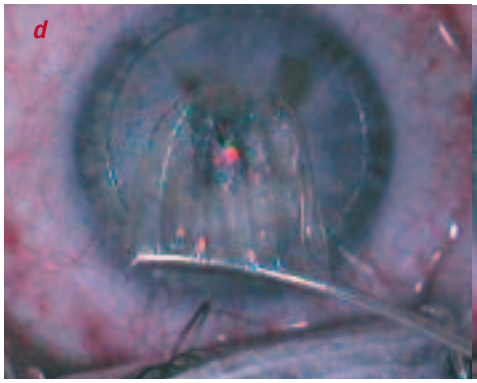
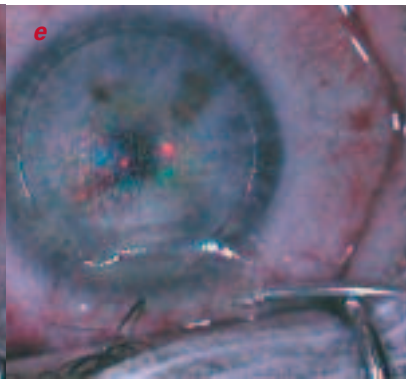


Figure 11c. *Les adhérences tissulaires sont levées (TØ+7s).*





Figures 11d. *Le volet est très fin.*

Figure 11e. *Le volet est facilement récliné.*

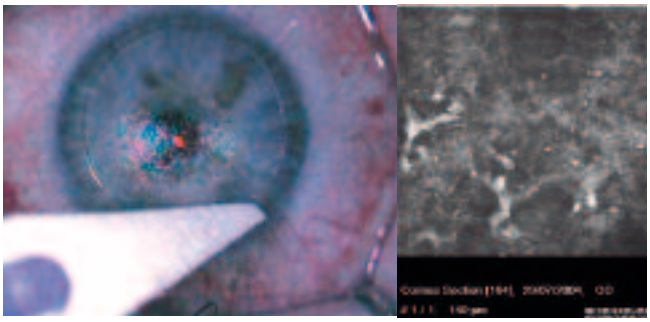


Figure 12a et 12b. *Le lit stromal, régulier, est prêt pour la photoablation. En microscopie confocale, l'aspect post-opératoire est le même, que l'on ait utilisé un microkératome ou le laser femtoseconde. (Dr Sonigo)*

franches qu'avec un microkératome (car quasi perpendiculaires à la courbure cornéenne), ce qui facilite le contrôle du repositionnement en fin d'intervention.

En post-opératoire, les bords du capots apparaissent plus nettement qu'après microkératome (*figure 13*)

L'angle de la coupe est en partie responsable de cette opacité, mais le processus cicatriciel différent des deux modes de découpe y participe aussi.
Les reprises chirurgicales, qui étaient réputées difficiles, ne le sont pas spécifiquement (y compris après neuf mois), bien que l'on ait démontré la majoration de l'adhérence du capot après découpe laser.

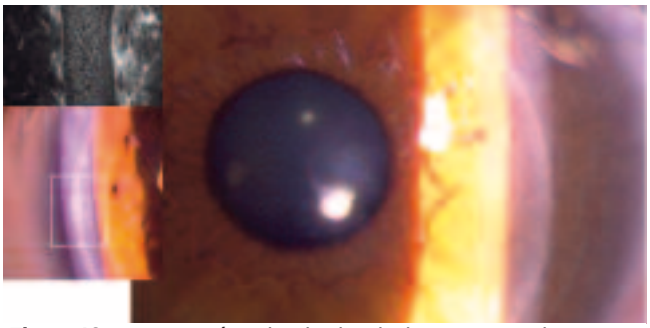


Figure 13. *En post-opératoire, les bords du capots sont beaucoup plus visibles qu'après une découpe au microkératome (ici une cicatrice à deux mois).*

Les raisons du succès

Le laser femtoseconde est, sans aucun doute, la plus grande avancée technologique de la décennie en matière de chirurgie lamellaire cornéenne.
Fait exceptionnel en chirurgie ophtalmologique, ce progrès ne s'est pas accompagné d'un gain de temps opératoire, puisque la découpe au laser d'un volet cornéen est nettement plus longue qu'une procédure mécanique. A noter toutefois un bénéfice en termes de gestion du matériel, puisque le nettoyage et la maintenance des microkératomes disparaissent.

Malgré cela, l'IntraLase™ a su séduire l'ensemble des chirurgiens qui l'ont utilisé, y compris ceux qui y était initialement réticents.
Quelle est la raison de ce succès? Est-ce l'effet laser, cher à nos patients, qui joue sur les chirurgiens ? L'attrait de la nouveauté? La sérénité du chirurgien pendant la découpe (même les plus expérimentés l'ont ressentie !)?
Sans réfuter ces hypothèses, la plus vraisemblable est l'impressionante efficacité et la précision de ce "bistouri-laser". Il serait en tout cas certainement faux de limiter le succès du laser femtoseconde a des effets de mode et de marketing.
La qualité, la prédictibilité et la sécurité étant parmi les maîtres mots de la chirurgie réfractive, nous ne doutons pas du développement des découpes au laser femtoseconde dans les années à venir.
Dès à présent, le choix d'une découpe au laser IntraLase™ en première intention semble légitime pour l'ensemble des candidats au lasik.
Ainsi, il a déjà été réalisé plus de 500000 procédures à travers le monde (370 lasers en cours d'utilisation) dont 3000 interventions à la Clinique de la Vision (Paris) en 2005.
Par ailleurs, limiter cet instrument chirurgical à la réalisation d'un capot de lasik serait regrettable. Diverses indications se développeront, tant en chirurgie réfractive, avec les incisions arciformes et les ablations intrastromales, qu'en thérapeutique, pour optimiser les kératoplasties (transfixiantes ou lamellaires antérieures et postérieures). Cette évolution devrait être renforcée par la mise à disposition dans les mois à venir du laser femtoseconde IntraLase™ 60 kHz, ainsi que ceux d'autres faricants (Femtek™).

Bibliographie

Bokobza Y. Le laser femtoseconde : lasik 100% laser. Les Cahiers d'Ophtalmologie - N° 84 - Nov. 2004.

Durrie DS, Kezirian GM. Femtosecond laser versus mechanical keratome flaps in wavefront-guided laser in situ keratomileusis: prospective contralateral eye study. J Cataract Refract Surg 2005 Jan;31(1):120-6.

Kezirian GM, Stonecipher KG. Comparison of the IntraLase femtosecond laser and mechanical keratomes for laser in situ keratomileusis. J Cataract Refract Surg 2004; 30:804–11.

Lebuisson D. lasik total ou le bonheur d'utiliser le laser femtoseconde. Réflexions ophtalmologiques - N°77-Tome 9 - Sept. 2004.

Sonigo B, Chong-Sit D, Ancel JM, Auclin F, Bokobza Y, Baudouin C. In vivo confocal microscopy evaluation of corneal changes induced after lasik using the IntraLase femtosecond laser technique, J Fr Ophtalmol 2005 May;28(5):463-72.

Touboul D, Salin F, Mortemousque B, Chabassier P, Mottay E, Leger F, Colin J. Advantages and disadvantages of the femtosecond laser microkeratome. J Fr Ophtalmol. 2005 May;28(5):535-46.

Tran DB, Sarayba MA, Bor Z, Garufis C, Duh YJ, Soltes CR, Juhasz T, Kurtz RM. Randomized prospective clinical study comparing induced aberrations with IntraLase and Hansatome flap creation in fellow eyes: potential impact on wavefront-guided laser in situ keratomileusis. J Cataract Refract Surg 2005 Jan;31(1):97-105.